

## MODULAR, HIGH ENERGY, WIDELY-TUNABLE AND ULTRAFAST FIBER SOURCE

Publication number: JP2002118315 (A)

Publication date: 2002-04-19

Inventor(s): FERMANN MARTIN E; GALVANAUSKAS ALMANTAS;  
HARTER DONALD J

Applicant(s): IMRA AMERICA INC

Classification:  
- international: G02B6/02; G02F1/35; G02F1/37; H01S3/06; H01S3/07;  
H01S3/10; H01S3/109; H01S3/23; H01S3/30; H01S3/00;  
H01S3/04; H01S3/16; G02B6/02; G02F1/35; H01S3/06;  
H01S3/10; H01S3/109; H01S3/23; H01S3/30; H01S3/00;  
H01S3/04; H01S3/16; (IPC1-7): H01S3/10; G02B6/10;  
G02F1/35; G02F1/37; H01S3/06; H01S3/109; H01S3/30

- European: H01S3/087G

Application number: JP20010154396 20010523

Priority number(s): US20000576772 20000523

### Also published as:

DE10124983 (A1)

US2005111500 (A1)

US7394591 (B2)

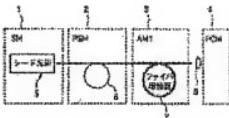
US6885683 (B1)

US2008232407 (A1)

### Abstract of JP 2002118315 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a modular, compact and widely-tunable laser system for efficiently generating a high peak ultrashort pulses.

SOLUTION: System compactness is ensured by employing efficient fiber amplifiers, directly or indirectly pumped by diode lasers. Peak power handling capability of the fiber amplifiers is expanded by using optimizing pulse shapes as well as dispersively broadened pulses. Dispersive broadening is introduced by dispersive pulse stretching in the presence of self-phase modulation and gain, resulting in the formation high-power parabolic pulses. After amplification, the dispersively stretched pulses can be limited by a relatively broad width limit by the implementation of another set of dispersive delay lines. To ensure a wide tunability of the whole system, Raman-shifting of the compact sources of ultrashort pulses in conjunction with frequency-conversion in nonlinear optical crystals can be implemented. Further, a positively dispersing optical amplifier and a Raman amplifier fiber are utilized.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

## (20) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-118315

(P2002-118315A)

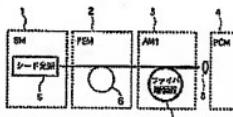
(43)公開日 平成14年4月19日 (2002.4.19)

(51)Int.Cl. <sup>1</sup>	識別記号	F I	テ-マード(参考)
H 01 S 9/10		H 01 S 9/10	Z 2 H 0 5 0
G 02 B 6/10		G 02 B 6/10	C 2 K 0 0 2
G 02 P 1/35	5 0 1	G 02 F 1/35	5 0 1 5 F 0 7 2
1/37		1/37	
H 01 S 9/08		H 01 S 9/08	B
特許請求 未詳表 請求項の数41 OCL 外部障出願 (全 78 頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2001-154396(P2001-154396)	(71)出願人	503185670 イムラ アメリカ インコーポレイテッド
(22)出願日	平成13年5月23日(2001.5.23)		アメリカ合衆国 ミシガン州48106 アン
(31)優先権主張番号	0 9/5 7 6 7 7 2		アーバー ウッドリッジ・アベニュー1044
(22)優先日	平成12年5月23日(2000.5.23)	(72)発明名	マーティン・イ・ファーマン
(33)優先権主張国	米国(US)		アメリカ合衆国 ミシガン州 アンアーバー
			レインハイブ コート 4931番地
		(72)発明者	アルマンダス・ガルバナスカス
			アメリカ合衆国 ミシガン州 アンアーバー
			レインハイブ コート 4931番地
		(74)代理人	100061276
			弁理士 大川 宏
		最終頁に続く	

## (50) [発明の名稱] モジュール式、高エネルギー、広波長可変性、短高速、ファイバ光源

## (57)【要約】 (修正有)

【課題】高ピーク電流パルスを効率よく発生するモジュール式小型広波長可変レーザーシステムを提供する。【解決手段】システムの小型化はダイオードレーザで達成あるいは周波数にボンブされた効率のよいファイバ増幅器を採用することで実現される。ファイバ増幅器のピークパワー処理能力は分散的に広がったパルスはもちろん、通過されたパルス形状を使うことで、高められる。分散広がりは自己位相調制と利得の存在下で分散パルスが拡散することで導入され、高パワー放電管状パルスの形成もたらす。増幅後、分散的に広がったパルスは、別のセットの分散選択ラインを実装することで、バンド幅最適近くまで再压缩される。全体のシステムの広い波長可変性を確実にするために、非線形光学結晶での回波反射鏡と合同して絶縁ハルスの小型光路のラマンシフトが実施される。さらに、正分散光増幅器、ラマン増幅器ファイバを利用する。



(2)

特開2002-118315

2

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 0.3 nm以上のスペクトルバンド組と、約50 fsと1 nsの間のバルス幅とをもつ波長範囲1~1.15 μmバルスを発生するシード光源と、該バルスを入力して増幅し、増幅したバルスを出力する広いバンド幅のバルスのためのファイバ增幅器と、該ファイバ增幅器にレーザエネルギーを供給するためのポンブレーザと、を有するレーザシステム。

【請求項2】 前記シード光源は、ファイバレーザと、該ファイバレーザの出力を入力するラマンシフトと、該ラマンシフトの出力を周波数遮断する非整形結晶と、を有する請求項1に関するレーザシステム。

【請求項3】 前記ラマンシフトは、前記ファイバレーザの放電部を0.200 nmより長いスペクトル範囲に上方搬持するシリカベースのファイバであり、さらに前記非整形結晶は、その後、該上方変換された波長を100.0~150.0 nmのスペクトル範囲に下方変換する、請求項2に関するレーザシステム。

【請求項4】 非整形結晶の波長範囲は、ラマンシフトの出力の中心波長以下である請求項2に関するレーザシステム。

【請求項5】 前記ラマンシフトは、非増幅ファイバ、あるいは屈折率分布と約0.0~0.5 nmの波長範囲の波長範囲のバルスを発生するために選定された各色帯増幅イオンとをもつ増幅ファイバ、を有する請求項2に関するレーザシステム。

【請求項6】 前記シード光源は、E<sub>r</sub>ファイバレーザと、該E<sub>r</sub>ファイバレーザの出力を入力し、前記ファイバ增幅器に入力するシリカラマンシフトファイバと、前記増幅されたバルスを入力するヒュラックラマンシフトと、を有し、前記ファイバ增幅器は、Tmファイバ增幅器である、請求項1に関するレーザシステム。

【請求項7】 周波数遮断遮断を実行するようにヒュラマンシフトファイバの出力を入力する非整形結晶をさらには有する請求項6に関するレーザシステム。

【請求項8】 前記シード光源は、E<sub>r</sub>ファイバレーザと、周波数遮断遮断を実行するように既E<sub>r</sub>ファイバの出力を入力する非整形結晶と、該非整形結晶の屈折率分布出力を入力するラマンシフトと、を有する請求項1に関するレーザシステム。

【請求項9】 前記シード光源は、受動型モードロックファイバレーザであり、一端の非整形ファイバおよび異なる屈折率分布と異なる各色帯増幅イオンをもつ増幅ファイバは、前記非整形結晶の周波数遮断出力を約750 nmから約1050 nmの波長範囲にラマンシフトさせるために使用されるホーリファイバである。請求項8に関するレーザシステム。

【請求項10】 前記シード光源は、受動型モードロックファイバレーザであり、一端の非整形ファイバおよび異なる屈折率分布と異なる各色帯増幅イオンをもつ増幅ファイバは、前記非整形結晶の周波数遮断出力を約750

nmから約5000 nmの波長範囲にラマンシフトするためで使用される、請求項8に関するレーザシステム。

【請求項11】 前記シード光源は、受動型モードロックファイバレーザを有する。請求項1に関するレーザシステム。

【請求項12】 前記受動型モードロックファイバレーザは、Ndファイバレーザである、請求項1に関するレーザシステム。

【請求項13】 前記受動型モードロックファイバレーザは、Ndファイバレーザである、請求項1に関するレーザシステム。

【請求項14】 前記受動型モードロックファイバレーザは、多モードである、請求項1に関するレーザシステム。

【請求項15】 前記受動型モードロックファイバレーザは、偏光保持である、請求項1に関するレーザシステム。

【請求項16】 前記受動型モードロックファイバレーザは、単モードで偏光保持である、請求項1に関するレーザシステム。

【請求項17】 前記シード光源は、ファイバレーザと、該ファイバレーザの出力を入力し反ストークスブルーライト出力を出力する周波数シフトファイバと、を有する。請求項1に関するレーザシステム。

【請求項18】 前記ファイバレーザは、E<sub>r</sub>、E<sub>r</sub>/Y<sub>b</sub>、あるいはTmファイバレーザである、請求項1に関するレーザシステム。

【請求項19】 前記シード光源は、前記ファイバ増幅器で放電部状バルスの生成を誘導するバルスを発生する、請求項1に関するレーザシステム。

【請求項20】 前記シード光源と前記ファイバ増幅器との間にあって、該シード光源を後ファイバ増幅器に結合し、1 Km以下の長さの光ファイバをもつ結合器をさらには有する請求項1に関するレーザシステム。

【請求項21】 前記ファイバ増幅器の出力を結合された光ファイバをさらに有する請求項1に関するレーザシステム。

【請求項22】 前記光供給ファイバは、ホーリファイバ、一本の散モードファイバおよび一本あるいは二つの

40 単一モードファイバに接続された一本の散モードファイバからなる群から選択される請求項2に関するレーザシステム。

【請求項23】 前記シード光源は、前記ファイバ増幅器で放電部状バルスの生成を誘導するように100 fsより短いバルスを発生し、さらに、前記ファイバ増幅器は、10 fsより大きい割得をもつ、請求項2に関するレーザシステム。

【請求項24】 前記シード光源からバルスを受けて該バルスをちょうどよいときに分散的に並願し、該並願した50 バルスを前記増幅器に出力するバルス遮断器をさらに有

(3)

特開2002-118315

4

する請求項23に関するレーザシステム。

【請求項25】前記増幅されたパルスを時間的に圧縮するパルス圧縮器を有し、該パルス圧縮器の分散は、該パルス圧縮器がおおよそモード屈折率パルスを出力するようなものである。請求項24に関するレーザシステム。

【請求項26】前記シード光源は、TmあるいはNdファイバレーザと、該TmあるいはNdファイバレーザの出力を入力し周波数追跡装置を有する非横模結晶と、を有する請求項1に関するレーザシステム。

【請求項27】前記ファイバ増幅器は、YbあるいはNdのどちらかが組成される請求項1に関するレーザシステム。

【請求項28】増幅されたパルスをおおよそモード屈折率界まで時間的に圧縮するためのパルス圧縮器を、さらに有する請求項1に関するレーザシステム。

【請求項29】前記シード光源は、直接定調された半導体レーザである請求項1に関するレーザシステム。

【請求項30】0.3nmより大きいスペクトルバンド幅と約50fmと1nsの間のパルス幅とをもつて1.1.5μmの波長範囲のパルスを発生するシード光源と、該パルスを受けて該パルスをちょうどよいときに分散的に拡張し、該拡張したパルスを出力する(1)パルス拡張器と、広いバンド幅のパルスに対して1.0より大きな利得を得をもち、該拡張したパルスを受けて増幅しかつ出力するクラッドポンブルーフィバ増幅器と、該増幅されたパルスを有し、それをおおよそモード屈折率界まで時間的に圧縮するパルス圧縮器と、を有するレーザシステム。

【請求項31】前記パルス圧縮器は、1km以下の長さのファイバを有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項32】前記パルス圧縮器は、ホーリフィバを有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項33】前記パルス圧縮器は、一本の少數モードファイバを有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項34】前記パルス圧縮器は、一本あるいは多枚の单一モードファイバと一緒に使用された一本の少數モードファイバを有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項35】前記パルス圧縮器は、1km以下の長さの単一モードファイバを有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項36】前記パルス圧縮器は、W状屈折率プロファイルをもつファイバを有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項37】前記パルス圧縮器は、多クラッド屈折率プロファイルをもつファイバを有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項38】前記パルス圧縮器は、員の3次分散をもつ一本のファイバと、員の2次分散をもつ複形チャーベ

ファイバ屈折率子と、を有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項39】前記パルス圧縮器は、複形チャーブファイン屈折率子と、パルス圧縮手段で高次分散を補償するよう、3次および高次分散の選択できる壁をもつ一つあるいはより多くのファイバ透過型屈折子と、を有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項40】前記パルス圧縮器と前記パルス圧縮器の間に接続された倍数の付加的ファイバ増幅器と、1km以下の長さの光ファイバを有し、前記シード光源を該複数の付加的増幅器の最初の一つに接続するファイバ結合器と、該ファイバ増幅器の前、該複数の付加的ファイバ増幅器の後、あるいは該増幅器とのれかの中間、ひいては該複数の付加的増幅器のパルス拡張手段と、をさらに有する請求項30に関するレーザシステム。

【請求項41】0.3nmより大きいスペクトルバンド幅と約50fmと1nsの間のパルス幅とをもつて1.1.5μmの波長範囲のパルスを発生するシード光源と、少なくとも一つの前方バスと一つの後方バスで動作する増幅器であって、該パルスを受けて増幅し、出力する、広いバンド幅のパルスためのクラッドポンブルーフィバ増幅器と、該ファイバ増幅器にレーザエネルギーを供給するためのポンブルーフィバと、該増幅器の一つの前方バスと一つの後方バスの間に配置された光波調器と、を有するレーザシステム。

【請求項42】複数の付加的ファイバ増幅器と、ここで少なくとも一つおよび複数の付加的ファイバ増幅器は、少なくとも一つの前方バスと一つの後方バスで動作する、少なくとも一つの前方バスと一つの後方バスで動作する前記の少なくとも一つのファイバ増幅器と複数の付

加的ファイバ増幅器の最初のバスの後に配置された遮断器の基本モードを遮断的に逃避するモードフィルタと、をさらに有する請求項41に関するレーザシステム。

【請求項43】少なくとも一つの前方バスと一つの後方バスの間に配置された一つのパルス挿入器を、さらに有する請求項42に関するレーザシステム。

【請求項44】2μmより大きな出力波長で動作するパルス充電器であって、短パルス幅のパルスを出力するシード光源と、該パルスを入りし、該出力波長を生成する第一ファイバランシングファントムと、を有するパルス光路。

【請求項45】前記第一ファイバランシングファントム接続され少なくとも一つの付加的ファイバランシングファントムと、該ファイバランシングファントムの間にかかる接続された複数のファイバ屈折率子と、をさらに有する請求項44に関するパルス光路。

【請求項46】前記ファイバランシングファントムの最後の一つに接続された複数の屈折率子をさらに有する請求項5に関するパルス光路であって、該特殊構造晶の波長回転器が、ランシングシフトされ増幅されたシードパルスのラマンスペクトル成分の中心波長以下に選定されるパルス光

(4) 特開2002-118315

6

観。

【請求項4 7】受動型モードロックファイバレーザと、該ファイバレーザの出力を増幅するためのY型増幅器と、を有する光パルス光源。

【請求項4 8】前記受動型モードロックファイバレーザは、Y型ファイバレーザを有する請求項4 7に関する光パルス光源。

【請求項4 9】10 dB/km以下の利得と10 dB以上の総合利得をもつ光ファイバ透過ライインに接続された純粋正分散ファイバ光増幅器と、該光ファイバ透過ライインに配置された分散光波長子と、該光ファイバ透過ライインに配置された光学フィルタと、を有する光通信サブシステム。

【請求項5 0】3 dB/km以下の利得と2 dB以上上の総合利得をもつ光ファイバ透過ライインに接続された純粋正分散ファイバ光増幅器と、該光ファイバ透過ライインの一端に配置された分散光波長子と、を有する光通信サブシステム。

【請求項5 1】光ファイバ透過ライインに接続された正分散光ファイバ子と、光ファイバ透過ライインにやはり接続された光純分散光子と、を有する光通信サブシステムであって、該光ファイバ透過ライインを通過する光パルスを受けた自己位相調制の量は、光色分散光子よりも正分散光ファイバ子の方が多い、光通信サブシステム。

【請求項5 2】前記角分散系子は、チャーブファイバ回折干渉子を有する請求項5 1に列挙された光通信サブシステム。

【請求項5 3】光ファイバ透過ライインに接続された純粋正分散をもつ複数のホーリーファイバと、光ファイバ透過ライインにやはり接続された複数の光色分散光子と、を有する光通信サブシステムであって、光ファイバ透過ライインを通過する光パルスで受けた自己位相調制の量は、光色分散光子よりもホーリーファイバの方が多い、光通信サブシステム。

【請求項5 4】10 nm以下の長さをもつポンプパルス列を入力し、光信号も入力し、増幅し、出力する光ラマントン増幅器ファイバを有する光通信サブシステムであって、該光信号は、該ラマン増幅器ファイバをポンプパルスに対して反対方向に伝送する、光通信サブシステム。

【請求項5 5】前記光ラマン増幅器は、前記ポンプパルスに実施される回調操作で回調される、該請求項4に閉する光通信サブシステム。

【請求項5 6】光パルスを出力するシード光源と、該光パルスを增幅する度調器と、該度調器の光パルスを入力するラマンシフタファイバと、該ラマンシフタファイバの出力を入力するラマン増幅器と、を有する請求項5 5に関する光通信サブシステム。

【請求項5 7】前記周調操作は、前記シードパルスが前記ラマンシフタファイバに注入されるまえに、該シード

パルスのパワー、波長および幅の少なくとも一つを変調することを含む、請求項5 6に関する光通信サブシステム。

【請求項5 8】前記ラマンシフタファイバは、分散がある意味で前記ラマンシフタを最適化するように波長で変化するホーリーファイバである、請求項9に関するレーザーシステム。

【請求項5 9】シードパルスの光漏れと、該シードパルスを入力し地盤するファイバ増幅器と、を有するレーザーシステムであって、該ファイバ増幅器で作られたパルスが放電現象であるように、該シードパルスは発生させられ、該ファイバ増幅器は、形成される、レーザーシステム。

【請求項6 0】シードパルスの光漏れと、該シードパルス

20 を入力し地盤するファイバ増幅器と、を有するレーザーシステムであって、そのレーラー光漏れは、該ファイバ増幅器で作られたパルスが放電現象であるように、該シードパルスは発生させられ、該ファイバ増幅器は、形成される、レーザーシステム。

【請求項6 1】シードパルスの光漏れと、該シードパルスを入力し地盤し、且つ増幅しないたるパルスを出力するファイバ増幅器と、を有するレーザーシステムであって、該ファイバ増幅器で作られたパルスが放電現象であるように、該シードパルスは発生させられ、該ファイバ増幅器は、形成される、レーザーシステム。

【請求項6 2】異なる波長の光パルスの光漏れと、該異なる波長の各々で接続したラマンシフタの度合いを目的に修正する手段と、を有する光通信サブシステム。

【請求項6 3】異なる波長の光信号を接続したファイバ光波長器と少くとも一つのファイバレーザ増幅器とを有するタイプの光通信システムにおける、該異なる波長の信号に異なる利得を課する少なくとも一つのラマンシフタを有する改修。

【請求項6 4】パルス出力を発生するファイバレーザと、該ファイバレーザのパルス出力を入力するラマンシフタと、該ラマンシフタの出力を回路基板伝送する非導体結晶と、該シード光源のためのシード光源。

【請求項6 5】前記非導体結晶は、PPLN, P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>Tiウムタンタレート、P<sub>1</sub>P<sub>2</sub>MgO:LiNbO<sub>3</sub>、P<sub>1</sub>KTPからなる群から選ばれた簡略的にボルトした強電離光学材料と、KTP異極性結晶の簡略的にボルトし

40 て結晶と有する請求項6 4に請求されたシード光源。

【請求項6 6】請求項6 5に請求されたシード光源であって、前記非導体結晶の区間は、該シード光源のパルス出力のパルス長さを制御するために選定される、シード光源。

【請求項6 7】前記非導体結晶の出力波長は、該非導体結晶の度調節前することで制御される、請求項6 5に請求されたシード光源。

【請求項6 8】供給ファイバと、回折格子型パルス圧縮

50 器と、該パルス圧縮器の3次分散を補償するためのW-

ファイバと、を有する放物線状バルス体制で動作するファイバレーザシステム用供給システム。

【請求項6】放物線状バルス体制で動作するファイバレーザ増幅システム用分散供給装置であって、該システムの增幅器部の前に配置され、少なくとも一つの次の3次分散生成系子を含むバルス制御器と、該分散器で導入された分散を取り消す正の3次分散をもち、2次分散を抑制するために該增幅器部の後に配置されたバルス圧縮器とを有する分散供給装置。

【請求項7】放物線状バルス体制で動作するファイバレーザ増幅システム用分散供給装置であって、該システムの增幅器部の前に配置され、少なくとも一つの正の2次分散生成系子と3次と4次分散を生成するための少なくとも一つのブラックフィードバック折子およびファイバ透過回折子を含むバルス制御器と、該分散器で導入された分散を取り消す正の3次分散をもち、2次分散を抑制するために該增幅器部の後に配置されたバルス圧縮器とを有する分散供給装置。

【請求項7】1) フュームト移体制シードバルスの光源と、ポンプバルスを形成するために該シードバルスを受けて波長シフトするラマンシフトファイバと、該ポンプバルスと反対方向に伝播する後段の信号波長バルスを吸込まれたラマン増幅器ファイバと、該ポンプバルスを波長調節するためと、該ラマン増幅器のラマン利得の中心波長を両端するためと、該シードバルスのパワー、波長、幅の少なくとも二つを変調する手段と、を有する波長可変ラマン増幅器。

【請求項7】2) 該請求項7に記載された増幅器であって、前記ポンプバルスは、前記シードバルスを有する修正ラマン利得ストックルに含まれるために、該ラマン増幅器の信号バルス順時序間に以下の時間周期で波長可変される増幅器。

【請求項7】3) 1ナ秒以下バルス幅をもつバルス出力を発生するファイバレーザと、分散が、部分か波長調製を兼ねるよう位相変化するホーリーファイバと、を有する波長可変レーザシステム。

【請求項7】4) パルス出力を発生するファイバレーザと、分散が、部分か波長調製を最適化するよう位相変化するホーリーファイバと、を有する波長可変レーザシステムであって、波長同調範囲内で、該ホーリーファイバは、負の2次分散を示し、波長3.000 nm附近で入力バルス光源に対する2次分散をもたらし、シリカの3次材料分散の絶対値に等しい相対値あるいはそれ以下の3次分散を示す、波長可変レーザシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の背景】 1. 発明の分野

この発明は、波長選択ができる、コンパクトで、モジュール式で、かつ効率的な高パワー短距離レーザバルス光源に関する、この短距離レーザバルス光源は、超高速レーザ技術

の工業使用における基本的な構成要素である。

【0002】2. 開連技術の記述

ファイバレーザは、これまで長い間、超短バルス発生用の有力な媒体と見ると認識されてきた。しかしながら、これまで、そのようなシステムは、主に、波長可変性に対して制限されたオプションをもち、かつ他の波成成分(バルス幅)に影響がある、動的ヒミズムがソフトした(チャーブした)ブラックフィードバック子を使用した瞬時周波数の変化するバルス(チャーブしたバルス)増幅に基づいていた(A. Galvanauskas and M.E. Feinmann, "Optical Pulse Amplification using Chirped Bragg Grating", U.S. United States Patent, No. 5,499,130)。

チャーブフィードバック子は、実に広く入手できるデバイスに発達してきた。そして、ブラックフィードバック子内のチャーブは、通常に、あるいはチャーブバルス増幅システム内での任意のオーダーの分散を補償するために、非線形に、さえもデザインされる(A.Galvanauskas et al., "Hybrid Short-Pulse Amplifiers with Phase-Mismatch Compensated Pulse Stretchers and Compressors", U.S. Patent N

20 05,847,853)。このチャーブバルス増幅システムは、バンド制限バルス、すなわち、与えられたスペクトルのバルスバンド幅によって最も短くできるバルスの発生に重要なである。

【0003】オファイバのパワーとエネルギーの限界を最大化するために、チャーブバルス増幅器を使用することとは、明らかに望ましいが、同時に、システム構造の要求(ブラックフィードバック子は、最も高い可能な分散を有するため、透過回路する反射で動かす必要がある)は、そのような理屈的なチャーブバルス増幅システムの使用を排出する。チャーブバルス増幅器の代わりとして、多モードファイバ増幅器での高パワーバルス増幅が実現された(N. E. Feinmann and D. Harter, "Single-mode A

mplifiers and Compressors Based on Multi-mode Optical Fibers", United States Patent, No. 5,838,630)。またチャーブバルス増幅器の代わりとして、ファイバ増幅でのシリトランシマン圧縮を使用することや、あるいは、一般的IC、非線形ファイバ増幅器中のバルス圧縮を使用することが提案された(M.E.Feinmann, A.Galvanauskas and D.Harter, "Apparatus and Method for the Generation of High-power Femtosecond Pulses from a Fiber Amplifier", United States Patent, No. 5,880,877)。

【0004】明らかに、多モードファイバの使用は、そのようなシステムの性能をさらに改善するために、チャーブバルス増幅およびシリトランシマン圧縮と結合される。しかしながら、今まで、全てのシステム性能をさらに最適化するためのバルス形状制御法は、企画が提出されなかつた。同じく、そのようなチャーブバルス増幅システムの振幅制御部分に自己一位置調節を使用することには、提案されていなかつた。

【0005】さらに、システムのコンパクト化と高エネルギー

(6) 特開2002-118315

9  
10

ルギルの折衷案として、パルク光学圧縮器と合同してファイバ分散遅延ラインを能用することは、有利であり、少なくとも、高-エネルギーファイバレーザシステムの部分的な商業化をもたらす (M.E. Fernandez, Galvanimukas and D.Harter, "All Fiber source of 10<sup>10</sup> nJ sub-picosecond pulses", *J Appl. Phys. Lett.*, vol. 64, 1994, p. 1335-1338)。しかしながら、今日まで、パン端面界近くまでバルスを再反射するためには、共振器と圧縮器の組合せの中で、より高次の3次および4次分散を制御する有効な方法は、全然見出されなかつた。

【0008】チャーブルス増幅器の別の代わりとして、高-判別正分散(半ソリトンを捕獲せる)シリカベースの單一モードエルビウム増幅器をバルクリズム圧縮器と組み合わせて使用することにより、有効なバルス圧縮が得られるということを以前に提唱された (K.Tanura and M.Nakazawa, "Pulse Compression by Nonlinear Pulse Evolution with Reduced Optical Wave Breaking in Erbium-Doped Fiber Amplifiers", *Opt. Lett.*, vol. 21, p. 68 (1996))。しかしながら、この技術はシリカベースのエルビウム増幅器と合同して使用することは、問題である。なぜなら、正分散のための要求がハイコアサイズを約5ミクロンに制限するから、さもなければ、魚の骨の粒分散が、正常の増幅を支障し、金属性を有するファイバ分散が、正の増幅を支障するからである。同様に、シリカベースの多モードファイバは、エルビウム増幅器最も魚の骨の分散をもち、有効なバルス圧縮のためにそれを使用することを妨げている。このように、正分散エルビウム増幅器の限定されたコアサイズは、達成可能なバルスエネルギーを大きく減少させる。

【0007】さらに、一つのエルビウム増幅器の後で付加的なスペクトル拡大やバルス増幅を行う方法は、田村によって示されなかつた。同様に、エルビウム増幅器の分散を補償するためにはリズムバルス圧縮器の性能を最適化する方法は、田村によって示されなかつた。

【0008】チャーブルス増幅器の別の代わりとして、非増幅光ファイバをパルク回折格子圧縮器と合同して使用することが提案された (D.Gryschitsky et al., and J.Kafka et al., U.S. Patent No. 4,730,809)。しかしながら、そのようなシステムには利得がないので、高パルスエネルギーが、高出力パワーを得るために非線形光学素子に接合されなければならない。システムのピークパワー特性を低下させる。さらに、そのような光学配置で、より高次の分散を補償する方法は試験されておらず、このアプローチの実現性を大きめに制限している。さらに、そのようなシステムへの入力でのバルス形状を制御することなしで、複数チャーブをもつスペクトルバルスは、非常に限定された入力パワーでのみ得られる。入力バルス形状の制御は、Kafkaによって試験されなかつた。同様に、パルク回折格子圧縮器と合同して最も短い可視な

バルスを得るために、そのような非線形光学素子における2次および3次分散制御のようなものが、必要とされるが、これも Kafkaによって試験されなかつた。

【0009】別途(分散-補償)増幅器素子中に色分散を実現しての(逆)パワー光波信号中の色分散補償は、既に色分散システムの性能を最適化するために導入された (C.D.Poole, "Apparatus of compensating chromatic dispersion in optical fibers", US Patent No. 5,185,822)。しかしながら、高-パワー-バルス光源の場合、分散

10 11  
12 13  
14 15  
16 17  
18 19  
20 21  
22 23  
24 25  
26 27  
28 29  
30 31  
32 33  
34 35  
36 37  
38 39  
40 41  
42 43  
44 45  
46 47  
48 49  
50 51  
52 53  
54 55  
56 57  
58 59  
59 60  
61 62  
63 64  
65 66  
67 68  
69 70  
71 72  
73 74  
75 76  
77 78  
79 80  
81 82  
83 84  
85 86  
87 88  
89 90  
91 92  
93 94  
95 96  
97 98  
99 100  
101 102  
103 104  
105 106  
107 108  
109 110  
111 112  
113 114  
115 116  
117 118  
119 120  
121 122  
123 124  
125 126  
127 128  
129 130  
131 132  
133 134  
135 136  
137 138  
139 140  
141 142  
143 144  
145 146  
147 148  
149 150  
151 152  
153 154  
155 156  
157 158  
159 160  
161 162  
163 164  
165 166  
167 168  
169 170  
171 172  
173 174  
175 176  
177 178  
179 180  
181 182  
183 184  
185 186  
187 188  
189 190  
191 192  
193 194  
195 196  
197 198  
199 200  
201 202  
203 204  
205 206  
207 208  
209 210  
211 212  
213 214  
215 216  
217 218  
219 220  
221 222  
223 224  
225 226  
227 228  
229 230  
231 232  
233 234  
235 236  
237 238  
239 240  
241 242  
243 244  
245 246  
247 248  
249 250  
251 252  
253 254  
255 256  
257 258  
259 260  
261 262  
263 264  
265 266  
267 268  
269 270  
271 272  
273 274  
275 276  
277 278  
279 280  
281 282  
283 284  
285 286  
287 288  
289 290  
291 292  
293 294  
295 296  
297 298  
299 300  
301 302  
303 304  
305 306  
307 308  
309 310  
311 312  
313 314  
315 316  
317 318  
319 320  
321 322  
323 324  
325 326  
327 328  
329 330  
331 332  
333 334  
335 336  
337 338  
339 340  
341 342  
343 344  
345 346  
347 348  
349 350  
351 352  
353 354  
355 356  
357 358  
359 360  
361 362  
363 364  
365 366  
367 368  
369 370  
371 372  
373 374  
375 376  
377 378  
379 380  
381 382  
383 384  
385 386  
387 388  
389 390  
391 392  
393 394  
395 396  
397 398  
399 400  
401 402  
403 404  
405 406  
407 408  
409 410  
411 412  
413 414  
415 416  
417 418  
419 420  
421 422  
423 424  
425 426  
427 428  
429 430  
431 432  
433 434  
435 436  
437 438  
439 440  
441 442  
443 444  
445 446  
447 448  
449 450  
451 452  
453 454  
455 456  
457 458  
459 460  
461 462  
463 464  
465 466  
467 468  
469 470  
471 472  
473 474  
475 476  
477 478  
479 480  
481 482  
483 484  
485 486  
487 488  
489 489  
490 491  
491 492  
492 493  
493 494  
494 495  
495 496  
496 497  
497 498  
498 499  
499 500  
500 501  
501 502  
502 503  
503 504  
504 505  
505 506  
506 507  
507 508  
508 509  
509 510  
510 511  
511 512  
512 513  
513 514  
514 515  
515 516  
516 517  
517 518  
518 519  
519 520  
520 521  
521 522  
522 523  
523 524  
524 525  
525 526  
526 527  
527 528  
528 529  
529 530  
530 531  
531 532  
532 533  
533 534  
534 535  
535 536  
536 537  
537 538  
538 539  
539 540  
540 541  
541 542  
542 543  
543 544  
544 545  
545 546  
546 547  
547 548  
548 549  
549 550  
550 551  
551 552  
552 553  
553 554  
554 555  
555 556  
556 557  
557 558  
558 559  
559 560  
560 561  
561 562  
562 563  
563 564  
564 565  
565 566  
566 567  
567 568  
568 569  
569 570  
570 571  
571 572  
572 573  
573 574  
574 575  
575 576  
576 577  
577 578  
578 579  
579 580  
580 581  
581 582  
582 583  
583 584  
584 585  
585 586  
586 587  
587 588  
588 589  
589 590  
590 591  
591 592  
592 593  
593 594  
594 595  
595 596  
596 597  
597 598  
598 599  
599 600  
600 601  
601 602  
602 603  
603 604  
604 605  
605 606  
606 607  
607 608  
608 609  
609 610  
610 611  
611 612  
612 613  
613 614  
614 615  
615 616  
616 617  
617 618  
618 619  
619 620  
620 621  
621 622  
622 623  
623 624  
624 625  
625 626  
626 627  
627 628  
628 629  
629 630  
630 631  
631 632  
632 633  
633 634  
634 635  
635 636  
636 637  
637 638  
638 639  
639 640  
640 641  
641 642  
642 643  
643 644  
644 645  
645 646  
646 647  
647 648  
648 649  
649 650  
650 651  
651 652  
652 653  
653 654  
654 655  
655 656  
656 657  
657 658  
658 659  
659 660  
660 661  
661 662  
662 663  
663 664  
664 665  
665 666  
666 667  
667 668  
668 669  
669 670  
670 671  
671 672  
672 673  
673 674  
674 675  
675 676  
676 677  
677 678  
678 679  
679 680  
680 681  
681 682  
682 683  
683 684  
684 685  
685 686  
686 687  
687 688  
688 689  
689 690  
690 691  
691 692  
692 693  
693 694  
694 695  
695 696  
696 697  
697 698  
698 699  
699 700  
700 701  
701 702  
702 703  
703 704  
704 705  
705 706  
706 707  
707 708  
708 709  
709 710  
710 711  
711 712  
712 713  
713 714  
714 715  
715 716  
716 717  
717 718  
718 719  
719 720  
720 721  
721 722  
722 723  
723 724  
724 725  
725 726  
726 727  
727 728  
728 729  
729 730  
730 731  
731 732  
732 733  
733 734  
734 735  
735 736  
736 737  
737 738  
738 739  
739 740  
740 741  
741 742  
742 743  
743 744  
744 745  
745 746  
746 747  
747 748  
748 749  
749 750  
750 751  
751 752  
752 753  
753 754  
754 755  
755 756  
756 757  
757 758  
758 759  
759 760  
760 761  
761 762  
762 763  
763 764  
764 765  
765 766  
766 767  
767 768  
768 769  
769 770  
770 771  
771 772  
772 773  
773 774  
774 775  
775 776  
776 777  
777 778  
778 779  
779 780  
780 781  
781 782  
782 783  
783 784  
784 785  
785 786  
786 787  
787 788  
788 789  
789 790  
790 791  
791 792  
792 793  
793 794  
794 795  
795 796  
796 797  
797 798  
798 799  
799 800  
800 801  
801 802  
802 803  
803 804  
804 805  
805 806  
806 807  
807 808  
808 809  
809 810  
810 811  
811 812  
812 813  
813 814  
814 815  
815 816  
816 817  
817 818  
818 819  
819 820  
820 821  
821 822  
822 823  
823 824  
824 825  
825 826  
826 827  
827 828  
828 829  
829 830  
830 831  
831 832  
832 833  
833 834  
834 835  
835 836  
836 837  
837 838  
838 839  
839 840  
840 841  
841 842  
842 843  
843 844  
844 845  
845 846  
846 847  
847 848  
848 849  
849 850  
850 851  
851 852  
852 853  
853 854  
854 855  
855 856  
856 857  
857 858  
858 859  
859 860  
860 861  
861 862  
862 863  
863 864  
864 865  
865 866  
866 867  
867 868  
868 869  
869 870  
870 871  
871 872  
872 873  
873 874  
874 875  
875 876  
876 877  
877 878  
878 879  
879 880  
880 881  
881 882  
882 883  
883 884  
884 885  
885 886  
886 887  
887 888  
888 889  
889 890  
890 891  
891 892  
892 893  
893 894  
894 895  
895 896  
896 897  
897 898  
898 899  
899 900  
900 901  
901 902  
902 903  
903 904  
904 905  
905 906  
906 907  
907 908  
908 909  
909 910  
910 911  
911 912  
912 913  
913 914  
914 915  
915 916  
916 917  
917 918  
918 919  
919 920  
920 921  
921 922  
922 923  
923 924  
924 925  
925 926  
926 927  
927 928  
928 929  
929 930  
930 931  
931 932  
932 933  
933 934  
934 935  
935 936  
936 937  
937 938  
938 939  
939 940  
940 941  
941 942  
942 943  
943 944  
944 945  
945 946  
946 947  
947 948  
948 949  
949 950  
950 951  
951 952  
952 953  
953 954  
954 955  
955 956  
956 957  
957 958  
958 959  
959 960  
960 961  
961 962  
962 963  
963 964  
964 965  
965 966  
966 967  
967 968  
968 969  
969 970  
970 971  
971 972  
972 973  
973 974  
974 975  
975 976  
976 977  
977 978  
978 979  
979 980  
980 981  
981 982  
982 983  
983 984  
984 985  
985 986  
986 987  
987 988  
988 989  
989 990  
990 991  
991 992  
992 993  
993 994  
994 995  
995 996  
996 997  
997 998  
998 999  
999 1000  
1000 1001  
1001 1002  
1002 1003  
1003 1004  
1004 1005  
1005 1006  
1006 1007  
1007 1008  
1008 1009  
1009 1010  
1010 1011  
1011 1012  
1012 1013  
1013 1014  
1014 1015  
1015 1016  
1016 1017  
1017 1018  
1018 1019  
1019 1020  
1020 1021  
1021 1022  
1022 1023  
1023 1024  
1024 1025  
1025 1026  
1026 1027  
1027 1028  
1028 1029  
1029 1030  
1030 1031  
1031 1032  
1032 1033  
1033 1034  
1034 1035  
1035 1036  
1036 1037  
1037 1038  
1038 1039  
1039 1040  
1040 1041  
1041 1042  
1042 1043  
1043 1044  
1044 1045  
1045 1046  
1046 1047  
1047 1048  
1048 1049  
1049 1050  
1050 1051  
1051 1052  
1052 1053  
1053 1054  
1054 1055  
1055 1056  
1056 1057  
1057 1058  
1058 1059  
1059 1060  
1060 1061  
1061 1062  
1062 1063  
1063 1064  
1064 1065  
1065 1066  
1066 1067  
1067 1068  
1068 1069  
1069 1070  
1070 1071  
1071 1072  
1072 1073  
1073 1074  
1074 1075  
1075 1076  
1076 1077  
1077 1078  
1078 1079  
1079 1080  
1080 1081  
1081 1082  
1082 1083  
1083 1084  
1084 1085  
1085 1086  
1086 1087  
1087 1088  
1088 1089  
1089 1090  
1090 1091  
1091 1092  
1092 1093  
1093 1094  
1094 1095  
1095 1096  
1096 1097  
1097 1098  
1098 1099  
1099 1100  
1100 1101  
1101 1102  
1102 1103  
1103 1104  
1104 1105  
1105 1106  
1106 1107  
1107 1108  
1108 1109  
1109 1110  
1110 1111  
1111 1112  
1112 1113  
1113 1114  
1114 1115  
1115 1116  
1116 1117  
1117 1118  
1118 1119  
1119 1120  
1120 1121  
1121 1122  
1122 1123  
1123 1124  
1124 1125  
1125 1126  
1126 1127  
1127 1128  
1128 1129  
1129 1130  
1130 1131  
1131 1132  
1132 1133  
1133 1134  
1134 1135  
1135 1136  
1136 1137  
1137 1138  
1138 1139  
1139 1140  
1140 1141  
1141 1142  
1142 1143  
1143 1144  
1144 1145  
1145 1146  
1146 1147  
1147 1148  
1148 1149  
1149 1150  
1150 1151  
1151 1152  
1152 1153  
1153 1154  
1154 1155  
1155 1156  
1156 1157  
1157 1158  
1158 1159  
1159 1160  
1160 1161  
1161 1162  
1162 1163  
1163 1164  
1164 1165  
1165 1166  
1166 1167  
1167 1168  
1168 1169  
1169 1170  
1170 1171  
1171 1172  
1172 1173  
1173 1174  
1174 1175  
1175 1176  
1176 1177  
1177 1178  
1178 1179  
1179 1180  
1180 1181  
1181 1182  
1182 1183  
1183 1184  
1184 1185  
1185 1186  
1186 1187  
1187 1188  
1188 1189  
1189 1190  
1190 1191  
1191 1192  
1192 1193  
1193 1194  
1194 1195  
1195 1196  
1196 1197  
1197 1198  
1198 1199  
1199 1200  
1200 1201  
1201 1202  
1202 1203  
1203 1204  
1204 1205  
1205 1206  
1206 1207  
1207 1208  
1208 1209  
1209 1210  
1210 1211  
1211 1212  
1212 1213  
1213 1214  
1214 1215  
1215 1216  
1216 1217  
1217 1218  
1218 1219  
1219 1220  
1220 1221  
1221 1222  
1222 1223  
1223 1224  
1224 1225  
1225 1226  
1226 1227  
1227 1228  
1228 1229  
1229 1230  
1230 1231  
1231 1232  
1232 1233  
1233 1234  
1234 1235  
1235 1236  
1236 1237  
1237 1238  
1238 1239  
1239 1240  
1240 1241  
1241 1242  
1242 1243  
1243 1244  
1244 1245  
1245 1246  
1246 1247  
1247 1248  
1248 1249  
1249 1250  
1250 1251  
1251 1252  
1252 1253  
1253 1254  
1254 1255  
1255 1256  
1256 1257  
1257 1258  
1258 1259  
1259 1260  
1260 1261  
1261 1262  
1262 1263  
1263 1264  
1264 1265  
1265 1266  
1266 1267  
1267 1268  
1268 1269  
1269 1270  
1270 1271  
1271 1272  
1272 1273  
1273 1274  
1274 1275  
1275 1276  
1276 1277  
1277 1278  
1278 1279  
1279 1280  
1280 1281  
1281 1282  
1282 1283  
1283 1284  
1284 1285  
1285 1286  
1286 1287  
1287 1288  
1288 1289  
1289 1290  
1290 1291  
1291 1292  
1292 1293  
1293 1294  
1294 1295  
1295 1296  
1296 1297  
1297 1298  
1298 1299  
1299 1300  
1300 1301  
1301 1302  
1302 1303  
1303 1304  
1304 1305  
1305 1306  
1306 1307  
1307 1308  
1308 1309  
1309 1310  
1310 1311  
1311 1312  
1312 1313  
1313 1314  
1314 1315  
1315 1316  
1316 1317  
1317 1318  
1318 1319  
1319 1320  
1320 1321  
1321 1322  
1322 1323  
1323 1324  
1324 1325  
1325 1326  
1326 1327  
1327 1328  
1328 1329  
1329 1330  
1330 1331  
1331 1332  
1332 1333  
1333 1334  
1334 1335  
1335 1336  
1336 1337  
1337 1338  
1338 1339  
1339 1340  
1340 1341  
1341 1342  
1342 1343  
1343 1344  
1344 1345  
1345 1346  
1346 1347  
1347 1348  
1348 1349  
1349 1350  
1350 1351  
1351 1352  
1352 1353  
1353 1354  
1354 1355  
1355 1356  
1356 1357  
1357 1358  
1358 1359  
1359 1360  
1360 1361  
1361 1362  
1362 1363  
1363 1364  
1364 1365  
1365 1366  
1366 1367  
1367 1368  
1368 1369  
1369 1370  
1370 1371  
1371 1372  
1372 1373  
1373 1374  
1374 1375  
1375 1376  
1376 1377  
1377 1378  
1378 1379  
1379 1380  
1380 1381  
1381 1382  
1382 1383  
1383 1384  
1384 1385  
1385 1386  
1386 1387  
1387 1388  
1388 1389  
1389 1390  
1390 1391  
1391 1392  
1392 1393  
1393 1394  
1394 1395

の使用は、Yb増幅器のエネルギーとパワーの限界をさらに大きく制限する。多モードYb系ファイバの使用は、内容がここに参考文献として組み入れられた水野出版No. 09/317, 221に記載されたが、Yb増幅器と同立する小型超短パルス光源は、わかりにくいままで残った。

【0012】能動的な光実験機器に組み入れられる広可変パルスYb-ファイバレーザが、最近記述された( J. Forta et al., "Environmentally stable picosecond ytterbium fiber laser with a broad tunable range," Opt Lett., vol.23, pp.615-617(1998))。このファイバレーザは、おおよそ10の利得・パン射出内の調節回路を設けているが、そのレーザを高強度光学に適用することは、そのレーザで発生される比較的長いパルスにより制限される。一般的に強度モードロックレーザは、突刺モードロックレーザよりも長いパルスを発生し、この現象のケースでは、発生したパルスのパン射出は、5 psの最小パルス幅をもつ僅か0.2 nJである。

【0013】非線形結晶中の偏波度変換と合同してラマンシフトを使った広可変ファイバレーザ光源が、最近記述された。(M.E.Fermann et al., US Patent No.5,880,877 and N.Nishizawa and T.Goto, "Simultaneous Generation of Wavelength Tunable Two-Colored Femtosecond Soliton Pulses Using Optical Fibers," Photonic Techn.Lett., vol.11,no.4,pp421-423参照)。基本的に、空間的に不变なラマンシフトが発生され、その結果、波長可変範囲は0.300~4.000 nmに限定される(Nishizawa et al.参照)。さらに、ラマンシフトの共振する応用や、非線形光学品目の非線形偏波度変換に基づく高度な非線形システムのノイズを最小にする方法は、何も知られていない。さらに、西沢らによって記述されたシステムは、ラマンシフトを削除するための付加的偏光制御エリビュウムYb偏振器で他のされた比較的緩慢な低パワー偏光制御エリビュウムファイバ振動器につながった。さらに、Eファイバレーザからの周波数変換出力のラマンシフトを可能にする方法は、何も記述されていない。

【0014】高パワーファイバ発振器からのパルスで、あるいは、高パワーファイバ発振器からの周波数変換されたパルスで、直接シードされたラマンシフトが明らかにほしい。そのようなファイバ発振器は、最近多モード光ファイバを使って記述された(M.E.Fermann, "Technique for mode-locking of multi-mode fibers and the construction of compact high-power fiber laser pulse sources," U.S. serial number 09/199,728)。しかしながら、ラマンシフトをその後使用したような発振器の周波数を変換する方法は、今日まで証明されたことがない。

【0015】

【発明の要旨】したがって、本発明の目的は、モジュー

ル化しやすく、小型、広波可変、高ピーク、高平均パワー、低ノイズ超高速ファイバ増幅レーザシステムを提供することである。

【0016】1) 短パルスシード光源、2) 広バンド幅ファイバ増幅器、3) 分散短パルス延滞要素、4) 分散パルス圧縮素子、5) 井井形周波数変換素子、6) ファイバ配用光学品目のような複数の容易に交換できる光学素を使用することで、システムのモジュール化を確実にすることが、発明の別の目的である。さらには、提携された任意のモジールは、交換できる光子系の下位セット構成され得る。

【0017】高強度高周波された分散延滞ラインも、ダイオードレーザで直接あるいは間接にポンプされた有効なファイバ増幅器も、使用することで、システムのモジュール化を確実にすることが、発明の別の目的である。ファイバ増幅器の高ピークパワー特性は、放物線状あるいは直線過渡されたパルス形状を使うことで、大きく拡大される。自己位相変調と合同して、放物線状パルスは、大バンド幅、高ピークパワーの発生も、良く制御された分散パルス延滞も、可能にする。高パワー放物線状パルスは、ファイバの材料分散が正確である波長で動作する高効率の準一あるいは多モードファイバ増幅器で発生される。

【0018】放物線状パルスは、自己位相変調あるいは一般的なカーブ型光学非線形性の存在下でも相違なファイバ長に沿って分配されるかもあるいは伝搬され、十分に非線形パルスステップを招く。そのようなファイバ分配あるいはファイバ伝搬ラインの極端で、パルスは、おおよそバンド幅得界まで圧縮される。

【0019】さらに、ファイバ増幅器の高エネルギー特性は、放物線状パルスあるいは他の最適なパルス形状と合同してチャーパルス増幅器を使用することで大きく拡大され、そのパルス形状は、バルス品質の劣化しない折山の自己位相変調を可能にする。より高度に集約化されたチャーパルス増幅システムは、(ブルク光学)リスズ浦原(あるいは近畿形徳ブランケット技術)あるいはパルス圧縮を周波数変換と結びつける周波数に色散分子の配向を描いた(ホールした)半導体結晶を使用することで、光ファイバの高エネルギー特性を損なうことなく作られる。

【0020】ファイバリース増幅器とバルク光学圧縮器での分散は、固定可能な2次、3次、4次分散もつファイバパルス延滞器を組み込むことで、4分の1のオーダーの位相に適合される。固定可能な高次分散は、それ自身あるいは、映像チャーパルスファイバ個折格子と合同して標準的な相移折断率分布(ステップインデック)高開口数ファイバを用いることで最適化された屈折分布をもつ映像反射鏡一端ファイバをもって、得られる。あるいは、高次分散は、高開口数の数モードファイバでの高次モードの分散特性を使用するか、透過

型ファイバ回折格子と台面による非線形チャーブファイバ回折格子を使用することで、削減される。既存可能な4次分散は、ファイバチャーブ回折格子、通常波ファイバ回折格子のチャーブを制御し、且つ異なる割合の2次、3次、4次分散をもつファイバを使用することで、得られる。両者に、高次分散は、簡略的にホールした非線形結晶を使用することを得られる。

【0021】ファイバ増倍器は、好ましくは短バースペクタライバ光路の形をした短バ尔斯レーザ光源でシードされ、Ybファイバ回折格子の場合は、ラマンシフトした回波散波倍増バルスとファイバレーザ光源が、広波長可変シード光源として、実装される。1.5 μmから1.0 μmへの周波数変換のノイズを最小にするために、Erファイバ増倍器は光源の自己制限ラマンシフトが使用される。あるいは、非線形回波散波倍増バルスのノイズは、自己制限回波散波倍増バルスのノイズよりも小さくなる。伝送結合の回調曲線の中心波長は、ラマンシフトバルスの中の波長より短い。

【0022】ラマンシフトと回波散波倍増バルスは逆にすることも可能である。そこでは、Erファイバレーザは、最初に周波数倍増され、その後800 nm前後の波長と、1 μmの波長制御用のシード光源をつるためのより高い波長と、に対してトリントン-擬合分散を与える泉適化されたファイバC、ラマンシフトされる。

【0023】Yb増倍器用の低-强度シード光源の代わりとして、セドロックYbファイバレーザが使用される。ファイバレーザは、強くチャーブしたバルスを作るようデザインされ、光学フィルタがYb増倍器用バンド幅選択近傍のバルスを遮断するためには組合される。

【0024】放物振動状バルスは、十分なファイバ長に沿って伝達されるので、そのバルスは、ファイバ光学連接システムにも使用される。このシステムでは、外部バルス光源で発生された放物振動状バルスが伝達される。あるいは、放物振動状バルスは、伝送プロセスでも生成される。後者のケースでは、伝送システムでの光学非線形性の有害な作用が、長い、分布型、正分光波増強器を実装することで一般的に最小化される。そのような增幅器は、少なくとも10 kmの長さと10 dB/km以下の利得をもつ。增幅器当面の利得は、光学非線形性の育成的な作用の最小化のための放物振動状バルス系列の開始を活用するために、10 dBを超えるべきである。伝送ラインのチャーブ振動は、ファイバ伝送波に沿って伝送機の端部でもチャーブファイバチャーブ回折格子を使用することで、通常実施される。光学バンド幅フィルターが、伝送したバルスのバンド幅制御のために、さらに実装される。

【0025】光ファイバでの短バルスのラマンシフトに加え、彼長可変バルス光源は、多くの応用、たとえば、

分光分析に有益である。しかしながら、電気連接システム用の波長可変ファイバランプ増倍器の製作にラマンシフトを応用することで、非常に能力的な装置が作られる。この波長可変システムにおいて、ラマンシフトしたバルスは、可変波長範囲のためにラマン利得を与える、ポンパブルスに開いて赤にシフトされる。さらに、ラマン利得スペクトラルの形状は、ラマンシフトしたポンパブルスを実験することで、制御される

【0026】

【提出された実施例の詳細説明】発明の一般化されたシステム図が、図1に示される。レーザー光光源1（セドモジュール；SM）で発生されたバルスは、バルス絶縁モジュール2（PSM）に結合され、そこでバルスは、分散的に時間が拡張される。拡張されないバルスは、クラッドポンプされたYbファイバ増倍器3（増倍器モジュール、AM1）の基本モードに結合され、そこでバルスは、少なくとも10倍増幅される。最後に、バルスは、バルス圧縮器モジュール4（PCM）に結合され、そこでばねばンド幅選択界近くまで時間的に圧縮される。

【0027】図1に示した実施例は、モジュール型で、4つのサブシステム；SM1、PSM2、AM1、PCM4、からなる。サブシステムは、別の実施例に記載されたように、異なる形状にはもちろん、個別でも使用される。

【0028】以下、基論はSM-PSM-AM1-PCMシステムに限定する。SM1は、好ましくはコムトトリス光源（シード光源5）を有する。PSMは、好ましくは一本のファイバ6を有し、SMとPSMとの結合部は、好ましくは前者で行われる。PSMの出力は、好ましくはAM1モジュール3の内部のYb増倍器7の基本モードに注入される。結合は、熟着、ファイバ結合器、あるいはPSM2とファイバ増倍器7の間のルクリガル光結合システムで行われる。すべてのファイバは、好ましくは偏光保持型が選択される。PCM4は、好ましく小型化の由て、一つあるいは二つのバルク光学回折格子で形成される分散選択ラインを有する。あるいは、多数のバルク光学プリズムやチャーブ回折格子がPCM4に使用される。PCM4への結合は、図1に示したレンズ8で遮断されているように、バルク光学レンズ9とスリムで行われる。ファイバチャーブ回折格子を含むPCMの場合、ファイバビッグテールがPCMへの結合に使用される。

【0029】フェムト秒レーザシード光源の一例として、ラマンシフト回波散波倍増Ybファイバレーザが、図2のSM1b内に示されている。フェムト秒レーザ9は、波長1.57 μmで200 fsをバルス、確率遮し周波5.0 Hzで1 nJのバルスエネルギーを供給する専門の高エネルギークリーン光源（Innol America, Inc., Fastolite B-5010）である。

【0030】1.5 μmから2.1 μmの波長領域への

(9)

特開2002-118315

最適なラマンシフトのために、偏光保持ラマンシフトファイバ10の長手方向にコア絞(「テーパ化した」)を両らすことを行われる。コア絞の減少は、1.5から2.1μmまでの波長範囲でラマンシフトでの2次分散を尋(しかし食)近くまで保つために必要とされる。2次分散の絶対値を小さく保つことで、ラマンシフト内のパルス幅が最小化され、このことは、ラマン回波シフトの最大化をもたらす(J.P.Gordon, "Theory of the Soliton Self-frequency Shift," Opt.Lett., 11, 667(1986))。テーパ化なしでは、ラマン回波シフトは、一概に2.00μm前後で飽和する。この2.00μmは、周波数倍倍後でもY型ファイバ増幅器の作用バンド幅と一致しない。

【0031】この特別の例では、それそれ6μmと4μmのコア絞をもつ30mと3mの長さのシリカ・ラマン・ファイバ(1.56μmで第一モード)からなる2段階ラマンシフト10が実現される。シリカの外側吸収率の半分があり2.0μmであることにようり、ラマンシフト10の終端方向にてーパ化する率を増加することが有利である。測定の際では、1.57μmから2.10μmへの変換効率を5%以上確保している。どちらかに変化するコア絞をもつ、より多巻のファイバを使うか、あるいはまなづかに変化するオプションをもつ二つのテーパ(ヒューバーを実現することで、よりよい変換効率を得られる)。

【0032】ラマンシフトしたパルスの1.05μm領域への周波数変換は、通常に選択されたポーリング周期をもつ一本の簡略的にポールしたLiNbO<sub>3</sub>(PPLN)結晶11で行われる。(この仕組合であるが)周波数変換用の新しい材料は、PPLNのよう必要であり、他の簡略的にポールしたPPリチウムタンナレート、PP MgO:LiNbO<sub>3</sub>、PP KTPのようないわゆる強電性光学材料あるいはKTPと異同軸系の簡略的にポールした結晶も有利に使用されることが運営されるべきである。) PPLN結晶11との場合は、回2にレンズ12と示されたレンズシフトを使って行われる。PPLN結晶11の出力は、レンズ12で出力ファイバ13に結合される。1μmの波長領域で40μJ以上のパルスエネルギーをもたらす2.1μmの周波数変換の場合、18%の変換効率が得られる。周波数変換されたパルスのスペクトル幅は、PPLN結晶11の繊の過度な選択で選択される。たとえば、13mmの長さのPPLN結晶は、約800fsのパルス幅に対応する1.05μm領域での2nmのバンド幅を生成する。発生されたパルス幅は、およそPPLN結晶の長さに比例する。すなわち、400fsのパルス幅をもつ周波数変換されたパルスは、長さ8.5mmのPPLNを必要とする。このパルス幅は、周波数変換されたりしパルスが、約100fsに達するまで競かけられ、ラマンシフトしたパルスの制限された100fsのパルス幅は、さら

なるパルス幅の減少を制限する。

【0033】さらに、周波数変換されたパルス幅がラマンシフトしたパルスのパルス幅より十分長いとき、ラマンシフトしたパルスの広いバンド幅は、周波数変換されたパルスの波長範囲を可能にするために活用される。すなわち、有効な周波数変換は、周波数で2( $\omega_1 - \omega_0$ )から2( $\omega_1 + \omega_0$ )までのパルス範囲にとって得られる。ここで、2.8μmは、ラマンシフトしたパルスのスペクトルの最大値の半分でのスペクトル幅である。ここでの連続波長範囲は、周波数変換結晶11の屈折を調節することによって行われる。

【0034】ラマンシフト、PPLN結晶の組み合わせ、地盤されんノイズは、次のように最小化される。E1ファイバ-レーザーパルス光源の自己調節ラマンシフトは、ラマンシフトをシリカベースの単ファイバでの2μmより大きい方に拡張することで使用される。2μm以上の測定の場合、シリカの赤外吸収率がパルスを大きく減衰し始め、ラマンシフトの非線形や増幅効率の減少をもたらす。すなわち、1.5μmでの増加したパルスエネルギーは、より大きなラマンシフトと2μmの波長領域でのより大きな吸収に曝けたのに逆立ち、この増加は、したがってこの構成でのラマンシフトしたパルスの振幅を安定させる。

【0035】あるいは、非線形回波変換プロセスのノイズは、自己調節回波変換を行うことで最小化され、その場合、通信信道の回路回路の中心波長は、ラマンシフトしたパルスの中心波長より短い。再び、1.5μm領域での増加したパルスエネルギーは、より大きなラマンシフトに移り、減少した周波数変換効率を引き起こし、したがって、周波数変換したパルスの振幅が安定化される。したがって、一定の周波数変換されたパワーは、入力パワーの大きな変化に対して得られる。

【0036】この図3に示されおり、ここで、1μm波長領域での周波数変換された平均パワーが、1.56μmでの平均入力パワーの関数として示されている。自己調節回波変換結果は、図3に示すように、1μmの波長領域での周波数シフトが1.56μmの波長領域での平均入力パワーに依存しないということを確実にしむる。

【0037】PSM2にはいくつかの選択できる物がある。図1に示すように、PSMとして一家のファイバ(並頭ファイバ)が使用されるとき、システム内はパンチホール界面に近いパルスを得るために、適当な分散遅延ラインがPCM4に使用される。しかしながら、PCM4の分散遅延ラインが図4に示すようにパルクの回折格子14から構成されると、かなりの問題が生じる。2次と3次の比13/2と1次分散は、1μmの波長領域で動作する典型的な有限状態分布をファイバでの2次と3次の比13/2と1次分散に比べて、回折格子型分散遅延ラインで1-30倍大きい。さらに、1μmの波長領域

域で動作する低屈曲度をもつ標準的な横断形状折半分布ファイバの場合、ファイバでの3次分數の符号は回折格子型分數遅延ラインでの符号と同じである。このように、回折格子型光路図と合同してファイバの拡張器は、システムでの3次および高次分數の強度ための予測手段にならない。

【0038】10倍以上のバルス拡張を行うためには、3次および高次分數の制御が、PCM4での最高バルス圧縮に重要なとなる。この問題を打散するために、PSM2の拡張ファイバ16が、W状のクラッド横断分布をもつファイバ、すなわち、「W-ファイバ」(J.Ainslie et al.)あるいはホーリーファイバ(T.M.Juniper et al., "Holey Optical Fibers An Efficient Model Model, J.Lightw.Tech., vol.17, no.6, pp.1093-1102)と見き換えられる。W-ファイバとホーリーファイバの両方は、2次、3次、および高次分數の強度可能な値を許す。Wおよびホーリーファイバで可能な最小のマイクロスビードの結果一モードファイバでの種より大きな3次分數の強度が得られる。実図は、図1に示されているのに類似して、取りヶれには表示されない。そのようなシステムの優位性は、PSMが純粹に透過程で動作するということである。すなわち、PSMは反射型で動作する分散型ラグランジ回折格子の使用を避け、異なるシステム構成のためにシステムの中のより外に統廃合される。

【0039】2次、3次、および4次分數の強度可能な値をもつ別のPSM2が図5に示されている。PSM2 0aは、通常の横断形状折半率分布ファイバが、正、ゼロ、あるいは、負いずれかの3次分數を作ることができるという原理に基づいている。ファイバでの最高3次分數の値は、ファイバの最適の高次モード、カットオフ近くのLP<sub>11</sub>モードを用いて作られる。図5で、PSM2 0aの4次の3次分數は、バルス圧縮ファイバの3次区間1、1.5、1.8、1.7を構成することで、調整される。最初の強度ファイバ15は、セロの3次と過切な4次分數をもつ二つのファイバである。最初の強度ファイバ15は、2番目の拡張ファイバ16に接続され、企查ー式バルス増幅システムはもちろん、回折格子圧縮器の3次分數を強度するために選定される。LP<sub>11</sub>モードの3次分數の優位性を確保するため、最初の拡張ファイバ15は、2番目の拡張ファイバ16と互いのファイバ中心でセッショントして接続される。最初の強度ファイバ16のLP<sub>11</sub>モードの主な励起をもたらす。2番目の強度ファイバ16での3次分數の値を最大化するためには、高闇度数NA>0.20をもつファイバが望ましい。2番目の強度ファイバ16の基準モードの後にしてLP<sub>11</sub>モードを伝播させるために、2番目の拡張ファイバ16の端部で、現状の接続技術が使われる。ファイバの過切の選定によって、全増幅器、圧縮器の4次分數が最小化される。3番目の拡張ファイバ17は、無視できる分數をもち、短くできる。

【0040】光学的なモード変換器の使用なしでLP<sub>11</sub>モードからLP<sub>01</sub>モードへのパワー伝搬を行うことで受けられないと50%あるいはそれ以上の損失により、全ファイバ光路図アセンブリの伝搬損失は、少なくとも25%である。2番目の強度ファイバのLP<sub>01</sub>モードの残余エネルギーは、図5に示すように、選択できる反射型ファイバ倍子18で削除される。若木モードと次の高次モードとの間の有効な折半の大きさを基に、二つのモード間に回折格子共鳴装置が10-40nmの範囲変化し、10-40nmの間のスペクトル幅をもつバルスのための一方向のモードを上方にに対して選択的に排除することを許容する。

【0041】ファイバ拡張器アッセンブリのエネルギー損失は、3番目の拡張ファイバ17をYb地盤図に開闢させることで、小さくされる。この実装は、別々に示されない。

【0042】4次分數が大きくなるとき、最高の拡張ファイバ15は取り除かれる。3次と4次分數が最初と2番目の拡張ファイバの間で異なりますすれば、4次分數もゼロでない3次分數をもつ最初の強度ファイバを使用することで、補償される。

【0043】AM13の内部のYb添加ファイバは、Yb濃度レベルが2、5モル%で、長さが5mである。単一モードおよび多モード両方のYb添加ファイバが使用され、出力ビームの空間的品質を最適化するために、多モードファイバの結合基本モードが削除されるが、ファイバのコア径は、1-50μm間変化される。必要とされる利得の値に依存して、異なる長いYb添加ファイバが使用される。最も高い可能なYbエキシグを発生させるために、長さ1mのYbファイバが実装される。

【0044】バルス圧縮は、PCM4で行われる。PCM4は、通常のバルク光学部品(図4に示すバルク回折格子のような)、單一回折格子圧縮器、あるいは、多數の分散プリズムやその他の分散選択ラインを含む。

【0045】あるいは、ファイバ式バルク回折格子あるいはチャーピした周期的ポールした結晶が使用される。チャーピした周期的ポールした結晶は、バルス圧縮と回波散乱強度の機能を組みつけ(A.Galvenska et al., "Use of chirped quasi-phase matched wave train in chirped pulse amplification systems," U.S. Application No.08/282,967,その内容をここに参考文献として記載されている)、独立のコンパクトなシステムのために回折格子供給するように動作する。

【0046】本発明に対する他の変更や修正は、これまでの開示や教示からの技術的判断したものに明白である。

【0047】特に、SM1は、周波数搬送1.52-2.2μmのYb地盤近くに規定されたフェムト秒バルスを作るための自立ユニットとして使われ、非線形結晶までの周波数変換器に周波数領域760nm-1.1μm

(11)

特開2002-118315

19

20

のパルスを作るのにも使われる。周波数領域は、フッタラマンシフトファイバあるいはシリカより長い赤外吸収端をもつ他の光ファイバを使うことでさらによく拡大される。この技術を使って、約3~5 μm以上の波長が生成される。周波数領域と共に、760 nmから5000 nmまでの連続波が生成される。2 μm領域のパルスパワーハンダあるいはHO流動ファイバを使うことで、さらに高められる。そのような増幅器で、バンド幅界近くの10 nmを超越するパルスエンドルギーもラマンシフトバルスが、2 μmの周波数領域の单一コードファイバに供給される。周波数領域後、数nmのエネルギーをもつフェムト秒パルスが、分散パルス圧縮器の使用なしで、1 μm領域で得られる。そのようなバルスは、大きなかなコアのモードYb増幅器のために高エネルギーギードバルスとして使用される。多モードYb増幅器は、增幅された自然散乱を抑えるための一端モードYb増幅器により高いシリカルスルネルギーを必要とする。

[0048]シリカラマンシフト2.0、Tm単色増幅器2.1および第2のフッタガラバースラマンシフト2をもつEトファイバーレーザーパルス先端1と組み合わせた超広帯可搬式ファイバ光路の一例が図6のSM1cに示されている。選択できる周波数範囲は示されていない; 最適な性能のために、全てのファイバは周波数保持でなければならない。Eトファイバーレーザーパルス先端に代わる別のものとして、Eト増幅器をもつダクターレーザーパルス先端の組合せが使われる; これは分離して示されない。

[0049]SMの別の代わりとして、SM1dが図7に示されており、ラマンシフトドリフィアバ4と合同して周波数選択性高ワーピークモードロックE1あるいはE2/Ybファイバ先端部2を有する。ここで、1.5 μmの波長領域で測定する発振器2と3からのパルスは、周波数選択性2とレジン2を使って最初に周波数選択性、その後周波数選択性されたりする。750 nm以上の波長あるいは少なくとも810 nm以上の波長に対してシリントン調節器を有するホーリファイバ2.4でラマンシフトされる。1 μm波長あるいは1.3、1.5、2 μm成長帶でラマンシフトしたバルスを増幅し、且つ異なるデザインのラマンシフトファイバを選定することで、波長領域が約750 nmから5000 nmの間に操作する連続的に可変な光波が得られる。多段の増幅器2をもつそのような光路のデザインも図7に示されている。

[0050]最適なラマン自己一周波数シフトのためには、ホーリファイバ分散が、波長の間数として最適化されなければならない。ホーリファイバの3次分散の絶対値は、シリカの3次分散の絶対値以下か、あるいは等しくなければならぬ。これでは、2次分散の絶対値でなければならず。2次分散ゼロがシード入力波長で300 nm以内でなければならぬからである。

[0051]Yb増幅器用シード光源の別の代替物として、反ストークスファイバでの反ストークス発生が使用される。反ストークス発生後、広い波長可変光源を作るために、付加的長さのファイバ増幅器とラマンシフトが使用される。一例的な構成は、図7に示されているものに類似している。ここで、周波数選択性2.5は省略され、ラマンシフト手段2.4は反ストークス発生手段と置き換わる。たとえば、1.55 μmで動作するEトファイバーレーザーパルス光源を使った反ストークス発生手段で、1.05 μm波長範囲の光を効率よく発生するためには、小さいコアと低い種の3次分散をもつ光ファイバの形をした反ストークス発生手段が最適である。3次分散の低い繩は、ここでは、1.55波長領域での標準的な電子遷移ファイバの3次分散の繩に比べて小さい3次分散の繩と定義される。さらに、反ストークスファイバの2次分散の繩は、角だけではなくならないYb増幅器の別の代りシード光源として、光動モードロックYbあるいはNdファイバーレーザーがSM内部に使用される。好みとしては、角分散で操作するYbソーライン発振器が使用される。

[0052]Ybソーライン発振器を作るために、図8に示すように、出力ファイバ3.6に接続されたチャーブファイバ格子2.9によって共共振器分散が共共振器内に導入される; あるいは、ホーリファイバ(T.Morroe, et al.)のような角分散ファイバがYbソーラインレーザー共振器に使用される。そのような配置を具体化するSMが、図8中に示して示されている。ここで、Ybファイバ3.0は、偏光保持、偏光子3.1がファイバ(結合がレンズ3.2で遮断されている)の一つの軸に沿う方向を追加した組み入れられる。西野のために、Ybファイバ3.0は、図30に示すように、側面からクラッドポンプされる。しかしながら、通常の準モードファイバを組み入れる光動モードロックYbファイバーレーザーが使われる。そのような配列は別々に示されていない。回折格子3.5は、分散制限のために使用され、また、内部共振器ミラーとして使用される。ポンプダイオード3.9は、V溝3.4を通してポンプ光を供給する。

[0053]ホーリファイバを組み入れる配列は図8に示したシステムとほとんど同じであり、ここで付加的なホーリファイバは共振器のどこかに接続される。ホーリファイバを組み入れる場合、ファイバプラグ回折格子は負分散をもつために不要であり、同様にプラグ回折格子は誇張体ミラーで置き換わる。

[0054]実験するのに最も簡単なものは、しかしながら、正分散で動作するYb発振器であり、それは、共共振器分散を抑制するために負分散ファイバプラグ回折格子あるいは、ホーリファイバのような待別の共振器要素を必要としない。放物律準Yb増幅器(あるいは通常のYb増幅器)と共に、高パワーYb増幅器システムのための非常にコンパクトなシード光源が得られる。

[0055]Yb増幅器4をもつそのようなYb発振器が図9に示

(12)

特開2002-118315

22

されており、ここで、好みしくは、Yb増幅器40は後に選択するような「放物律状」Yb増幅器である。図8中と同じ要素には同じ番号が付与されている。

【0054】図8中のSM1<sup>t</sup>は、図8に開示して記述されたような側方ポンプYb増幅器40を有するが、他のポンピング配置も実装されている。Ybファイバ44は、当然像光保持で、(偏光子31)が唯一の偏光状態を選ぶために挿入される。ファイバ回折子37は、Ybの利得バンド幅に比べ小さな反射バンド幅をもち、Ybの利得バンド幅に比べ大きなバンド幅をもつパルスの発振を抑制する。ブリグ回折子37はチャーブされるか、あるいはチャーブされない。チャーブされないブリグ回折子の場合、Yb発振窓内に発振するパルスは、正にチャーブされる。Yb発振窓内のパルス発生あるいは受動モードロックは、追跡相吸収28で始められる。光ファイバ39は付属的で、Yb増幅器40に送り出されたパルスのバンド幅をさらに制御する。

【0055】SM1<sup>t</sup>内のYb増幅器40内の放物律状パルスの形成を最適化するために、入力パルスYbの利得バンド幅に比べ小さいバンド幅をもつべきである;またYb増幅器40への入力パルスは、出力パルス幅に比べ小さくなければならない。Yb増幅器40の利得はできるだけ高く、すなわち、1.0以上でなければならぬ。また、Yb増幅器40内の利得強度が小さくなければならぬ。

【0056】放物律状増幅器の一例として、長さ5mのYb増幅器が使用される。放物律状パルスの形成は約0.2-1psのパルス幅と3-8nmのスペクトルバンド幅をもつ「シード」光源を使用することで可能にされる。放物律状パルスの形成は、Yb増幅器40上でシード光源のバンド幅を約20-30nmまで広げながら、出力パルスは、約2-3psに広げられる。放物律状パルス内でのチャーブが高度に整形であるので、圧縮後に1.00±0.02のパルス倍率が得られる。標準的な超高速固体増幅器が自己相吸収からの非整形位相ソフトをp<sub>1</sub>（最近の研究で最も知られる）と同じ大きさだけ許すので、放物律状パルスファイバ増幅器は、1.0±p<sub>1</sub>およびそれ以上の大きさの非整形位相ソフトを許すことができる。結論のために、我々はYb増幅器を放物律状増幅器と呼ぶ。放物律状増幅器は単純な矩形則に従い、増幅器長を過度に増やすことで、1nmあるいはそれ以下のスペクトルバンド幅をもつ放物律状パルスの発生を可能にする。たとえば、約21mのスペクトルバンド幅をもつ放物律状パルスが、約1.0mの長さの放物律状増幅器を使用することで発生される。

【0057】放物律状パルスが最大範囲の大きな値と、

これは次のように説明される。長さしの光ファイバでの自己相吸収で受けた時間依存位相れんごn(t)はビーグパワーに比例する。すなわち、

$$\phi_n(t) = \tau P(t) L.$$

ここで、P(t)は光バス内での時間依存ビーグパワーである。周波数依存は位相吸収の時間れんごを考えられ、すなわち、 $\delta\omega = \tau L [\partial P(t)/\partial t]$ 。放物律状パルスプロファイルP(t)=P<sub>0</sub>[1-(t/t<sub>0</sub>)<sup>2</sup>]、ここで、(-t<sub>0</sub><t<t<sub>0</sub>)の場合、周波数依存は定形である。それで、常にバスプロファイルも放物律状のままであり、複形周波数変調だけをもつ大きなビーグパワーの発生と複形パルスチャーブの発生とを可能にすることが、示されている。

【0058】Yb増幅器40で発生されたチャーブパルスは、図4に示すような新規子系回路を使って圧縮される。あるいは、チャーブした周波数でボールドした水晶42とレンズ41が、図9に示されるように、パルス圧縮のために使われる。図9に示すSM1<sup>t</sup>と開いて、約5.0nmのグリーンスペクトラル領域でのフェットやパルスを出す非常にコンパクトな垂直光路が得られる。【0059】図9に示す受動モードロックYbファイバレーザ44のほかに、Yb増幅器40でシードするための別の光路は、ラマンシントE<sub>0</sub>あるいはE<sub>1</sub>/Ybファイバレーザ、周波数シントT<sub>0</sub>あるいはH<sub>0</sub>ファイバレーザおよび、ダイオードレーザーの光源を有する。これら別のある構造は別々に示されない。

【0060】図10でファイバ供給をジュール(FD4)が図10に示す基本システムに組みられる。この場合PSM2は削除される;しかししながら、増幅をジュールのビーグパワーを高めるためにCP-SM2は必要となる。図10に示すYb増幅器7は非放物律状、放物律状の両方で動作できる。

【0061】最も簡単な構成では、FDM45が一本の光ファイバ48(直接ファイバ)からなる。放物律状増幅器の場合、供給ファイバ48はパルス品質での損失を抑ぐことなくYb増幅器7に直結接続される。しかし、放物律状パルスプロファイルにより、沢山の自己相吸収の場合は、PCM4でそのさらなるパルス圧縮を可能にするパルスに近似的に整形なチャーブが付加される。PCM4は、図4に示す寸法(ブリグ回折子37)4をもつて供給ファイバと共にFDM45に接続される。この場合、適当なコリメートレンズと接続する供給ファイバは、図4に示す入力に置き換えられる。そのような実施の割合の図は示されてない。しかししながら、PCM4の使用は可能である。たとえば、チャーブファイバがシステムから要求されるなら、省略される。PCM4と共に、図10に記載されたシステムは、派生的なチャーブパルス増幅システムを構成し、ここで、パルスが時間にわたって分散的に広げられる間、利得はもちろん自己

位相調節も加えられる。通常のチャーブパルス増幅システムに自己位相調節を付加することは、一般的にパルス歪曲度に大きなパルス変形をもたらす。放物線状パルスの使用はこの制限を打破する。

【0062】次世代ファイバ光通信システムは、チャーブパルス増幅システムと解釈される(、たとえば、D.J. Jones et al., IEICE Trans. Electron., E83-C, 180(1998)参照)。明らかに、放物線状パルスによるリレス変形の最小化は、光通信システムに寄与し関連する。

【0063】50 fsより短いパルス幅を得るために、FDMモジュールあるいはPSM内の3次元および高次の分散の制御が重要になる。PSMでの高次の分散の制御は、図1ともに説明して既に説かれた; FDMの高次の分散の制御は、非常に類似しており、図1に示すFDM4 5 aの構造的な実施例で説明される。図1に丁度表示するように、大きな3次分散のW-チャーブパルスPCM4の3次分散を補償するために使用される。図5に丁度示すように、FDMの高次の分散に対して異なる値をもつチャーブ15、16、17を使うことで、パルク回折格子を有するPCM4を含む全システムの高次の分散が補償される。

【0064】PSMの別の実施例が図12及び図13に示されており、それらはPSM市場で入手できる複数チャーブファイバラグ回折格子を使用できるようにするような実用的な同じ様子をもち、PCM6もPSM6も有する全チャーブパルス増幅システムの高次の分散を補償する。別の代替物として、非直線チャーブファイバラグ回折格子もPCMの分散を補償するためにPSMに使用される。そのような配置は既に示されている。

【0065】W-チャーブの使用あるいはPSMでのL

Pi-モードを用いるために、図12に示すようなPSMの別の実施例がPSM2 bとして示されている。ここで魚の頭形チャーブラグ回折格子4 7が、魚の3次分散をもつモードチャーブ拡張チャーブ4 8とサーキュレータ4 9と接続して使用される。魚の頭形チャーブラグ回折格子の投入は、PSM2 bでの比(3次/2次)分散を増大させ、パルク回折格子圧縮器が使用されると、PCM4での3次分散の高い値の補償を可能にする。PSM2 bは、PSMの複数をさらに改良するために複数チャーブファイバラグ回折格子と接続したW-チャーブも可能である。

【0066】高次の分散補償用PSMの別の実施例として、図13に記載がPSM2 cとして示されている、それは、正の頭形チャーブファイバラグ回折格子4 9、サーキュレータ5 0、および別のチャーブ回折格子5 1を有する。ここで、PCMモジュール内の複数および高次の分散を補償するために、正の頭形チャーブファイバラグ回折格子5 9は、正の2次分散を作り、他のチャーブ回折格子5 1は、適当な部の付加的な2次、3次、4次分散を作る。一つ以上のチャーブ

回折格子あるいはチャーブラグ回折格子が、3次、4次およびできればより高次の分散の適当な組を得るために使用される。

【0067】Y字増幅器からの増幅されたパルスエオルギを図1のオーダおよびそれ以上まで増大させるために、パルス圧縮器とさらなる増幅器が図14に示すように接続される。この場合、パルス圧縮器5 2は最初の増幅器AM1-3 aと2番目の増幅器AM2-3 bの間と、PSM2と最初の増幅モジュールAM1-3 aの間に挿入される。任意の数の増幅器とパルス保育器が、最も高い可能な出力パワーを得るために使用され、ここで、最後の増幅段はましくは、多モードチャーブからなる。回折段出力を得るために、多モード増幅器の基本モードが選択的に励起され、よく知られた技術(M.E. Ference et al., United States Patent, No. 5,815,630)を用いてガイドされる。パルス圧縮器5 2は、簡単に音響-光学あるいは電気-光学変換器のような光共振器からなるように構成される。パルス圧縮器5 2は、SMから出てくるパルスの通り道し周期性と与えられた値(たとえば、5.0 MHzから5 KHz)だけ低下させ、平均パワーは小さいまま非常に高いパルスエキルギの発生を可能にする。あるいは、直接ハイッチできる半導体レーザーも、システムの通り道し周期性を任意の値に調整するためで使用される。さらに、後方の増幅段に挿入されるパルス圧縮器5 2も増幅器との増幅された自由放出の増幅を抑え、高エネルギー回復パルスに出力パワーを集中させることを可能にする。増幅段は、以前説したようなPSMやPCMと台致しており、ここでは、全システムの分散がシステムの出力で最も短い可逆なパルスを得るために最小化される。

【0068】増幅モジュールAM1-3 aは、放物線状スペクトルをもつパルスを生成する放物線状偏振のようないくつかにデザインされる。同様に、AM1-3 aからの放物線状パルスは、図14にも示されるようないくつかの形状あるいはパルス圧縮チャーブ5 3で放物線状パルススペクトルをもつパルスに変換され、ここで、自己位相調和と正分散の相互作用がこの効率をうまく行く。これは理解されるであろう。なぜなら、放物線状パルスプロファイルをもつチャーブパルスが一本のチャーブ回折格子スペクトルをもつ放物線状パルスに進化することができるからである。放物線状パルス形状は、大きな自己位相調和の量を最大化し、瞬時にPSM2とPCM4で必要とされる分散パルス強度と歪曲の量を最小化する。同様に、放物線状パルス形状は、大きなパルス変形なしに、PSM2での十分な量の自己位相調和を許容することを認める。

【0069】一般パルスが延長すると、次の増幅器の自己位相調和の有する影響は、平らなパルス形状を使うことで最小化される。平らなパルス形状は、平らなパルススペクトルを生成するために、図14に示すような

(14) 特開2002-118315

2

光頭幅フィルタ 5 を最後の増幅モジュールの前に挿入することで生成される、平らなスペクトルは、十分なパルス被積の後、本当に平らなパルスに変換される、なぜなら、十分なパルス被積の後のスペクトル含蓄量と、時間遅れの間には直接の関連があるからである。自己位相変調の範囲が  $10^{\circ}$  と同じ大きさでも、大きなパルス変形を招くとともに平らなパルス形状に対しても許容される。

【0070】図14に示すような無屈フィルタも、地盤等でのパレスベルトの張成形が困難できるとき、すなわち、敷地斜状パレスが発生される体制の外側に、自己位相説明で強くチャーピングしたハリスに対する増強型チャンネルでの高分大数を削弱するために使用される。この場合、自己位相説明は、かなりの量の累次式で表される高分大数を生むする。

$$S_{\perp}''' = \gamma P_0 L_{err} \left( d^* S(\omega) / d\omega^* \right) \omega_{ss}$$

ここで、 $P_\omega$ はヘルシのピークパワーであり、 $S(\omega)$ は規格化されたバルススペクトルである。 $L_{\text{err}}$ は効果距離で、 $L_{\text{err}} = [\pi c/(4\sigma^2)] - 1$  である。 $\sigma$  は増幅器誤差で、 $G$  は単位長さ当たりの物理誤差率である。したがって、図 14 に示すような相位フィルタを強くチャーピングしたバルスのスペクトルを正確に抑制することは、任意の高次の分数がチャーピング増幅器によって高次の分数を被換するためには入る。されば、約 1 ns に拡張した 500 fs バルスに対して本論文に示された、~10 ポルの位相シフトは、1 800 本の渦巻きをもつチャーピング階層からなるバルス圧縮器（図 14 に示すよう）の首次分を被換するために十分である。魅力的な抑制制約のよい相位フィルタは、たとえば、チャイバ透過程型回折子であるが、任意相位フィルタや、バルススペクタルを削除するために、高次の分を引き出す抑制階層の前に適用される。

[0071] パルス振動器をもつ増幅器モジュールの組合せに対する別の実例とし、図15に示す構成がされる。非常に高いエネルギーのパルスは、それらの増幅のために大きなコアの多モードファイバを必要とするので、シングルペルスの偏光保持ファイバ増幅器と基本モードを制御することは困難である。この場合モードドロップを最小化するためと商品質の出力ビームを得るために、高密度に中心電極の非偏光保持ファイバ増幅器を使うのが好ましい。そのような増幅器から決定論的な準位に対しても安定な偏光を得るために、図15に示すようなアーバル・パス構造が要求される。ここで、単一モードファイバ5が倍速5倍の最初のバーストの空間モードモルタとして使用される；あるいは、ここに両面が使用される。空間モードフィルタ5は、モード増幅器5の最初のバーストのモードを識別し、モード増幅器の達成可能な利得を削除しながら次のモードの増幅された自然放電を抑える。レズン6は8、倍速増幅器5の外に空間モードフィルタ5と、おおむねパルス選択

52a、52bを補給するために使用される。ファラデー回路52は、西方伝播方向の前方端と直交するように偏光されることを電極にて、後方伝播方向は光と直交する偏光ビームスプリッタ52aでシステムの外に出されると、システムの部屋を最適化するために、システムの入射端でモードファイバ16の各モードによって周囲に近似した光波が結合され、ここで、利得ガイドが多モードファイバで増幅されたビームの空間的品質をさらに改善するために使用される。SMから供給されるバルス強度を遅延し周期を小さくするためにモード増幅器での増幅された自励放出を抑止するために、第1光度調節器52aが多モード増幅器の最初のバルスの後で投入される。規範的な場所は示すように反射モード52の前である。結果として、8.0~7.0 dBの大きさのダブルアーバス割合がそのような構成で得られる。 $p_1$ と $n_1$ ネルギーをもつ二つのバルスを由 $m_1$ レペリゲルまで増幅することから要求される増幅器 $N$ の数を最小化する。この程の増幅率は、以降算出したようなSM、PSM、およびPCM、完全に台取りし、 $\pi/2$ のエネルギーをもつフュームト秒 $\mu$ 秒の発生を可能にする。高利得増幅器はミルルーム器の代謝物として、SMで供給されるバルス列の遅延し周期を低下させることと、図15を示すような増幅器をミルルームに注入する前に、付加的に第2変調器52bで行われる。第1変調器52aの過送電の遅延し周期は、第2変調器52bの過送電の遅延し周期と同様にそれより遅くなければならない。そのような構成は、別々には示されていない。図15は、ここに参考文献として添付された米国特許5,400,350の図1をいくつかの概念化を共有する。

[0072] 本実明の則の特徴として、長い分布距離正規化分位数階層間1～1の放物線形状パラスの形成を用いた光路追従システムが図16に示されている。分散波束63が、ファイバ光路階層間1に進入する。光フィルタ62が光路階層間2の「S」形波束プロセスを最適化するために、さらに実装される。光フィルタは、振り返し透過スペクトル特性をもつように、規定された自由スペクトラル範囲内でも光学エッセンスに並んでおり、既存分野多種で要求されるような多段長チャンネルの同時遅延を可能にする。

〔0073〕キーノルマの利得ことは、ファイバ透過システムの光形一歩形成器に導入されるチャップを複形化するために、最も正方形のチャップの大きな利得を組合せることである。したがって、一般に、光透過システムの透過特性は、正方形（非リトリント支持）偏振器を実装することで、改善される。そのような増倍器は、少なくとも $1.0\text{ km}$ の長さをもち、 $1.0\text{ dB/km}$ 以下の利得をもつ。光学非線形性の有害効果を最小化するための放物形偏光バラス形成器の他に利用するためには、増倍器半径当たりの利得は $1.0\text{ dB}$ を超えることができる。さらなる改善は、 $3\text{ dB/km}$ 以下での利得をもつ、純合波偏光

(15)

特開2002-118315

28

が20dB以上であるように全長を長くした増幅器を使うことで増進される。ファイバ透過ラインの透過特性的さらなる改善は、ファイバ透過ラインの負分散系数のカーブ補正性の差を最小化することで得られる。これは負分散系数のためにはチャーブファイバ新断層を使用することによって達成される。

【0074】透過ラインでの放物線状パルスの形成に加えて、外部光源で放物線状パルスを発生させること、そしてそれを各ソリント支持増幅器ファイバに注入することも有利である。そのようなシステムを有効に使用するためには、ホーリファイバで可聴にされた低周波正分散透過が有益である。ファイバ透過ラインに沿ってファイバ透過ライン側と分離状態で実装される。そのようなシステムの実施は、図16に示すものに類似しており、別々には示されていない。上述のような類似のラインに沿ってファイバ透過された光路システムは、ここに参考文献として記述された既定出願No. 000000に開示されている。

【0075】電気遮断領域における本発明の別の実施例として、液滴式ラマン増幅器がラマンシフトパルスを使って構築される。与えられたポンプ波長の高パワー信号がポンプ波長に関してレッドシフトした倍波長のラマン利得をもつということとは、最近の技術でよく知られている。本実施例では、ここで説明された液滴式パルス光路の構造で使用されるポンプバルス自身に作用する効果である。

【0076】波長可変ラマン増幅器の一般的なデザインが図17に示されている。ここで、短い光バルスはシリアル光源で作られる。シードバルスは実験室5号で光学的に実現され、光増幅器6号で構築される。シードバルスは次に一本のラマンシフトファイバ6号に注入される。ラマンシフトファイバは主のホーリファイバあるいは他のデザインのファイバである。ラマンシフトバルス間の時間間隔は、図17に示すようなバルス分割手段(ポンプバルス分割器)6号を使って減少させる。このバルス分割手段は、たとえば、不均勻なマッハツインダウント計のフレイであるが、単一バルスからバルス列を発生させる任意の手段が受け入れられる。通常に波長シフトした増幅され変調されたシードバルスは、ラマン増幅器6号に注入されるポンプバルスを含み、信号入力7号で作成し、信号出力7号を得るために、図17に示すように、ラマン増幅器で倍波長の光利得を生成する。

【0077】ラマン増幅器ファイバ内で、信号波長での光信号は、ラマン増幅器のポンプバルスと対向方向に伝搬する。いくつかの信号波長でも信号合器をもつてラマン増幅器に注入され、そのような増幅器は光波長分割多重によって実現する。たとえば、成長6.470nmのポンプバルスは、シリカリファイバの中で1560nmの波長附近でのラマン利得を生成する。ラマン増幅器の利得を最適化するために、ホーリファイバ(あるいは相

対的に小さいファイバコアをもつその他のファイバが使用される。

【0078】ラマン利得が得られる波長の中心波長は、ポンプバルスの波長を回転することで調整される。ポンプバルスの波長範囲は、ラマンシフトファイバ6号に注入される前にシードバルスの幅とバーとを実験することによって達成される。

【0079】さらに、ラマン増幅器の利得スペクトルはポンプバルスの波長を高速に回転することで調整される。信号バルスは、音響で変更されたラマン利得スペクトルに影響される。得られたラマン利得が時間に依存しないことを確かめるために、ポンプバルスを回転するスピーカー。すなわち、必要な波長範囲にたってバルスを回転するのにかかる時間周期は、信号バルスがラマン増幅器ファイバ6号を移動するのに要する時間に比べて小さくされなければならない。

【0080】このように、電気遮断システムのラマン増幅器にとって、单一バルスからできる利得より広いスペクトル利得を得ることが有利である。異なる波長で共振される変化するデータ量を補償するために、VDMの電気通信システムの利得を効率的に変えることができるとしても有利である。スケタル利得を広げる一つの方法は、通信ファイバを伝播する時間に比べてポンプ波長を早く回転することである。利得は、ポンプが異なる波長でとどまる時間を測定することで効率的に調整される。利得スペクトルを調整する別の方法は、異なる波長ごとに大数のポンプバルスをラマンシフトファイバに使用することである。各波長ごとに相対的な数のバルスを調整することによって、絶対的な利得プロファイルを変更することを可能にする。

【0081】より具体的に言うと、図1に示されたフェムト秒バルス光源は、高パワーのため以下で構成して増幅される。これらのバルスは、フェムト秒バルス光源の動作点より遙かに長く分裂点をもつファイバで、1400-15000nm領域にラマン自己周波数シフトされると、このファイバはホーリファイバでもよい。1400-15000nm領域にラマン自己周波数シフトをもつワットレベルのパワーを達成するためには、光場の遮断り追尾周期が1GHz以上の中周波数であるべきである。利得スペクトル範囲と自動制御範囲は、異なる点のラマンシフトを構成するため、大数のポンプ波長を使用することで、ポンプ波長を回転することで、あるいは、バルス列の個々のバルスのバルス強度を変調することで得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に関する高ピーク、高平均パワー、超短レーザーバルス発生用のモジュール化したコンパクトな波長可変システムの概観である。

【図2】本発明に使用するためのシードモジュール(SM)の第一実施例の図である。

(16)

特開2002-118315

29

30

【図3】本発明の第一実施例に関する与えられた入力パワーで出力される平均周波数倍増倍率 $\beta$ と波長の関係を示すグラフである。

【図4】本発明で使用するためのパルス圧縮器モジュール(PCM)の第一実施例の図である。

【図5】本発明で使用するためのパルス拡張器モジュール(PSM)の第一実施例の図である。

【図6】本発明で使用するためのシードモジュール(SM)の第二実施例の図である。

【図7】本発明で使用するためのシードモジュール(SM)の第三実施例の図である。

【図8】本発明で使用するためのシードモジュール(SM)の第四実施例の図である。

【図9】本発明で使用するためのシードモジュール(SM)の第五実施例の図である。

【図10】ファイバ分配モジュール(FDM)が、図1に示された本発明の実施例に付加された本発明の一実施本

\* 例の図である。

【図11】本発明で使用するためのファイバ分配モジュール(FDM)の一実施例の図である。

【図12】本発明で使用するためのパルス拡張器モジュール(PSM)の第二実施例の図である。

【図13】本発明で使用するためのパルス拡張器の第三実施例の図である。

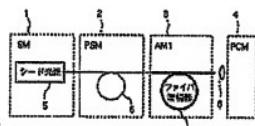
【図14】パルス倍増素子と付加的増幅段が付加された本発明の一実施例の図である。

【図15】パルス倍増素子のような光変調器と組み合わせてファイバ倍増器少なくとも一つの前方バスと一つの後方バスで動作する本発明の別の実施例の図である。

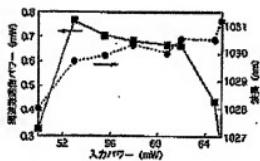
【図16】光通信の面における本発明の別の実施例の図である。

【図17】電気通信用波長可変ラマン増幅器の面における本システムの別の実施例の図である。

【図1】

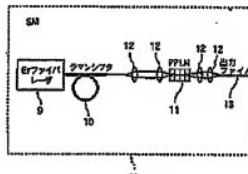


【図3】

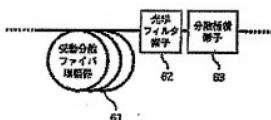
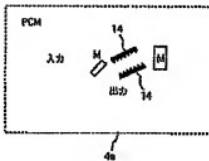


【図16】

【図2】



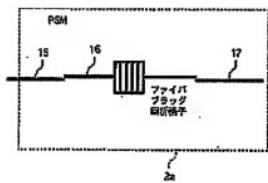
【図4】



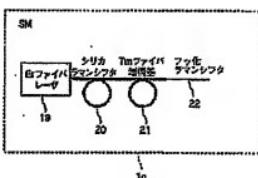
(17)

特開2002-118315

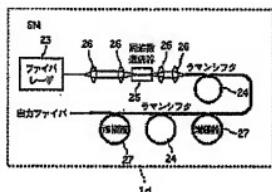
【図5】



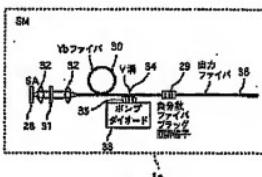
【図6】



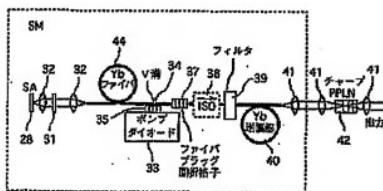
【図7】



【図8】



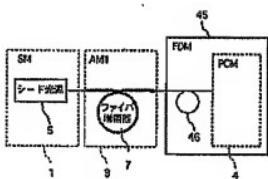
【図9】



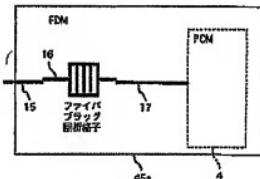
(19)

特開2002-118315

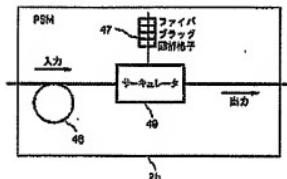
[图1.9]



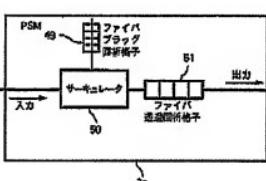
[图1-1]



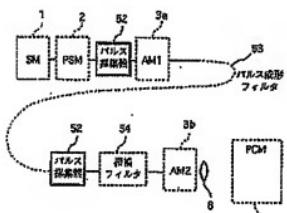
[图 12]



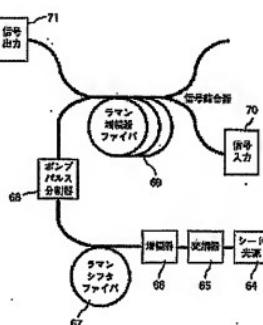
[图1.3.1]



[图 1-4-1]



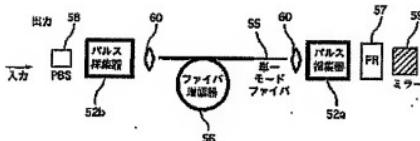
(图 1-7)



(19)

特開2002-118315

【図15】



## フロントページの続き

(51)Int.CI.  
H01S  
3/109  
3/30

識別記号

F I  
H01S  
3/109  
3/30トーラード (参考)  
Z(72)発明者 ドナルド・ジュー・ハーター  
アメリカ合衆国 ミシガン州 アンアーバー  
- サルグレイブ ブレイス 3535等地Fターム(参考)  
2H050 AC31 AC83 AD00  
2K002 AA02 AB12 AB30 AB31 BA03  
CA02 CA03 CA15 DA10 EA07  
EA30 HA20 HA24  
5F072 AB07 AB08 AB09 AB11 AK06  
JJ01 JJ07 KK07 KK12 KK36  
QQ02 QQ07 RR01 SS08 YY15